

Evaluación de efluentes en cinco fuentes contaminantes de la bahía de nuevitas

Evaluation of liquid waste in five contaminating sources of the nuevitas bay

Yanitse Caparrós-Cubeña^{1*} <http://orcid.org/0000-0003-2761-0450>

Belkis Esther González-Barríos¹ <https://orcid.org/0000-0002-8436-8122>

Daimy Godínez-Caraballo¹ <https://orcid.org/0000-0001-6522-7212>

^{1*} Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey. CIAC-AENTA, Cuba

*Autor para la correspondencia: yanitse@ciac.cu

RESUMEN

La contaminación de las aguas de mar se relaciona con uno de los principales problemas ambientales en Cuba. La Bahía de Nuevitas presenta un moderado nivel de contaminación, debido fundamentalmente a los vertimientos directos de 17 fuentes contaminantes industriales, además de residuales domésticos provenientes de la población. En este trabajo se evaluó la carga contaminante que generan cinco industrias que tributan a la bahía, las cuales representan el 30% de las fuentes contaminantes del municipio. Para el análisis de las aguas residuales se conformaron muestras compuestas en los puntos principales de vertido de cada instalación, incluyendo todas las actividades productivas. Se utilizaron los métodos descritos en el *Standard Methods for the Examination of Water*. Se demostró que de forma general las instalaciones sobrepasan los límites máximos permisibles para la DQO de acuerdo a los valores descritos en la norma cubana y sólo dos de ellas para el parámetro de DBO₅.

Palabras clave: residuales líquidos; fuentes contaminantes; evaluación.

ABSTRACT

Seawater pollution is related to one of the main environmental problems in Cuba. The Nuevita's Bay presents a moderate level of pollution, mainly due to direct discharges from 17 industrial pollutant sources as well as domestic waste from the population. In this work, the polluting load generated by five industries that tribute to the bay was evaluated, which represent 30% of the polluting sources in the municipality. For the analysis of wastewater, composite samples were made at the main discharge points of each facility, including all productive activities. The methods described in the Standard Methods for the Examination of Water were used. It was shown that in general the facilities exceed the maximum permissible limits for COD according to the values described in the Cuban standard and only two of them for the BOD₅ parameter.

Keywords: liquid residuals; contaminating sources; evaluation.

Recibido: 13/4/2021

Aprobado: 25/5/2021

Introducción

Desde los inicios de la revolución industrial, en el mundo se ha manifestado un crecimiento gradual en la creación de industrias y en la mejora de sus tecnologías. En un principio se consideraba que los beneficios que se obtenían eran mayores que los problemas que se ocasionaban. Esta forma de pensar solo cambió cuando la industrialización se hizo tan masiva, que los problemas ambientales eran evidentes y sus impactos empezaron a afectar la salud y el medio de convivencia en regiones urbanas. La relación entre el aumento de la industrialización y el incremento consecuente de la contaminación se ha descrito como un fenómeno que prevalece no solo en el archipiélago cubano sino, también, en muchos países y regiones del mundo.⁽¹⁾

Como promedio mundial, el 70 % del agua se emplea en la agricultura, el 19 % en la industria, y el 11 % tiene usos domésticos. La demanda mundial de agua para la producción industrial se prevé que aumente un 400 % entre el año 2000 y el 2050, mucho más que en cualquier otro sector. Se estima que en el mundo más del 80 por ciento de las aguas residuales se vierte al medio ambiente sin tratamiento alguno. Las consecuencias son inquietantes. En

2012, se registraron más de 800,000 muertes a nivel mundial a causa del consumo de agua potable contaminada e instalaciones para el lavado de manos y servicios de saneamiento inadecuados.⁽²⁾

Cada vez son más las zonas muertas desoxigenadas en mares y océanos a causa del vertido de aguas residuales sin tratar, lo cual afecta a los ecosistemas marinos en una superficie de 245,000 km², con repercusiones en la industria pesquera, medios de subsistencia y cadenas alimenticias. La importancia transversal de las aguas residuales se ve reflejada en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 dedicado al agua y al saneamiento y, especialmente, en la Meta 6.3 que propone reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentar considerablemente el reciclado y la reutilización segura a nivel mundial.⁽²⁾

En Cuba, el 82 % del agua se emplea con fines agrícolas, el 10 % con fines industriales, y el 8 % con fines domésticos. En el período 2011-2015 la extracción de agua para la industria pasó de 431 a 435 millones de m³ alcanzando un máximo de 644 millones de m³ en el año 2013. La Estrategia Ambiental Nacional de Cuba para el período 2016-2020 identifica la contaminación y la carencia de agua dentro de los principales problemas ambientales. Según este documento, el estrés hídrico se relaciona con causas naturales y antrópicas, entre las que se destacan la contaminación, la inadecuada planificación y uso y las tecnologías inadecuadas.⁽³⁾

Al cierre del año 2017, el inventario nacional de fuentes contaminantes, identificaba 2072 fuentes puntuales de contaminación. Aproximadamente, el 36 % de las fuentes contaminantes se vinculan al sector industrial. Por la condición insular de nuestro país las zonas marinas y costeras, a pesar de ser consideradas como áreas muy frágiles, están expuestas directamente a los efectos de la contaminación. El vertido de los residuales industriales tratados a los ecosistemas bahía requiere de un mejor seguimiento, control de sus aguas; posibilitando el cumplimiento de lo establecido por las exigencias y especificaciones en el artículo 95 normado, en la Ley 81 de Medioambiente.⁽⁴⁾

En la Bahía de Nuevitas hay notables afectaciones de la calidad del agua y sedimento. La misma es receptora de residuales domésticos, industriales ricos en metales pesados, nitrógeno inorgánico y los generados por las actividades portuarias.⁽⁵⁾

Por su carácter estratégico para el desarrollo perspectivo de la zona, el Consejo de la Administración Provincial aprobó un programa de lucha contra la contaminación en la Bahía de Nuevitas, que refrenda y da continuidad a las acciones emprendidas hace casi dos décadas, unas con mayor impacto que otras. Se trata de un conjunto de medidas a corto, mediano y largo plazos, dirigidas a la erradicación gradual de los principales focos contaminantes. Por lo que el objetivo de este trabajo radica en evaluar la contaminación emitida al medio por cinco de las principales fuentes de emisión de residuales líquidos a la Bahía de Nuevitas.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo durante los años 2016-2017. Como área de estudio, para la evaluación se seleccionaron cinco fuentes contaminantes que tributan a la Bahía de Nuevitas. Se escogieron estas entidades para el estudio a partir de una reinspección ambiental estatal al municipio Nuevitas, realizada por el departamento de supervisión y control ambiental (DSCA) de la Delegación Provincial del CITMA de Camagüey. Estas fuentes eran las principales entidades donde se viola lo establecido en alguno de los artículos de la Ley 81 del Medio Ambiente.⁽⁴⁾

Localización y características generales de las áreas de estudio:

Las entidades se encuentran geográficamente situadas en el municipio Nuevitas de la provincia de Camagüey, Cuba (figura 1).

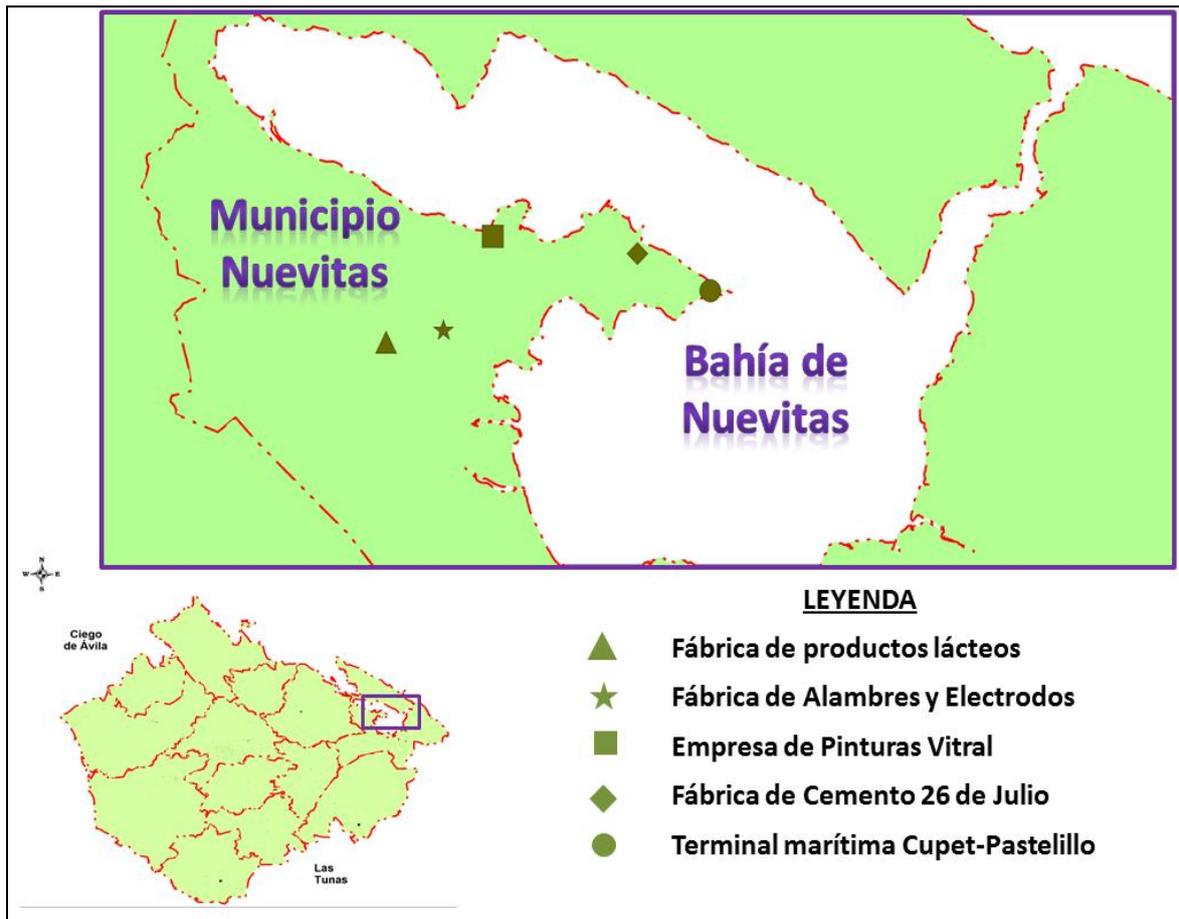


Fig. 1- Mapa esquema de la ubicación geográfica de las instalaciones. (Elaborado por autoras)

La Fábrica de Productos Lácteos y Fábrica de Alambre y Electroodos “Gonzalo Esteban Lugo” se ubican al suroeste de la ciudad de Nuevitas. Al noroeste de la misma se sitúa la Empresa Pinturas Vitral, al este la Terminal Marítima de Nuevitas (Cupet-Pastelillo) y al noreste la Fábrica de Cemento “26 de julio”. Estas últimas están más cercanas a la bahía.

En la tabla 1 se describen las principales fuentes que generan residuales líquidos en cada una de las entidades evaluadas.

De las cinco entidades una se dedica a la rama alimentaria, el resto de las entidades pertenecen a la rama química e industrial. En todos los casos la fuente principal de residuales líquidos se corresponde con la actividad que se vincula a la producción.

Tabla 1- Fuente de residuales líquidos generados en cada entidad.

Entidad	Actividad productiva	Fuente de residuales líquidos
Fábrica de alambre y electrodos “Gonzalo Esteban Lugo”	Producción y comercialización de alambres y artículos derivados del alambre y electrodos.	Aguas residuales vinculadas a los procesos industriales: - Agua proveniente del enfriamiento de las máquinas de trefilado. - Agua que proceden de los tanques de galvanizado.
Fábrica de Cemento “26 de Julio”	Producción y comercialización de cemento y clinker.	Aguas que proceden del proceso productivo: - Agua proveniente del enfriamiento del equipamiento - Limpieza de equipos
Fábrica de productos lácteos	Producción de leche fluida, mantequilla, yogurt de soya y natural, queso crema, crema untable y crema bombón.	Aguas vinculadas al proceso productivo: - Limpieza de equipos y las áreas de trabajo.
Empresa Pinturas Vitral	Producción y comercialización de pinturas bases solventes y acuosas, masillas para hierro y cristal, así como preservos, diluentes y tintas.	Aguas residuales vinculadas a la producción: - Lavado de tanques, equipos, e instalaciones.
Terminal Marítima de Nuevitás	Recepción, almacenamiento, manipulación y carga para la transportación terrestre de los combustibles de importación y para la exportación. Efectúa las operaciones de servicios de combustibles, deslastre, agua y limpieza a buques en el muelle propio o de terceros.	Aguas residuales vinculadas a los procesos industriales: - Purga de los tanques de almacenamiento.

Tipos y métodos de muestreo de las aguas residuales:

Los muestreos se realizaron por el personal del Laboratorio de Ensayos del Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey (CIAC), según el procedimiento L-PA-012 “Procedimiento para la organización de la actividad del muestreo” ⁽⁶⁾, en los puntos de vertido al cuerpo receptor Bahía y jornadas de trabajo representativas del desempeño de cada entidad. En cada punto se realizaron cinco muestreos, tomándose muestras compuestas para determinar las concentraciones medias, con vistas a comparar los valores de los parámetros obtenidos, con los establecidos en la norma.⁽⁷⁾ Las porciones individuales se recogieron cada 30 min y se mezclaron en un recipiente. De éste se tomó un volumen final de muestra de 1,5 L. Para ello se emplearon frascos de polietileno de alta densidad (PE-HD), los cuales se endulzaron previamente con el agua muestreada. No se añadió preservos a las muestras. Posteriormente se conservaron a bajas temperaturas mediante refrigeración y se entregaron en el laboratorio de agua del CIAC para la realización de diferentes tipos de ensayos.

Análisis de laboratorio

Los procedimientos analíticos empleados, así como su, simbología, unidades de medida y fundamentos del método se tomaron del Standard Methods for the Examination of Water.

23rd edition.⁽⁸⁾ Los equipos y cristalería que se utilizaron en las determinaciones, cumplían los requisitos establecidos por la Oficina Territorial de Normalización de Camagüey (OTN). Los análisis realizados son técnicas validadas en el laboratorio del CIAC. A continuación se exponen los diferentes métodos usados en dicho laboratorio (ver tabla 2).

Tabla 2- Parámetros y métodos de determinación utilizados en el laboratorio.

Análisis	Métodos de determinación /8/
pH	Método electrométrico
Conductividad eléctrica	Método electrométrico
Demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO ₅)	Método de los 5 días a 20°C.
Demanda química de oxígeno (DQO)	Método reflujo cerrado colorimetría.
Grasas y aceites	Gravimétrico (extracción con n-Hexano).
Sólidos totales	Gravimétrico. APHA; AWWA; WEF.
Sólidos sedimentables	Sedimentación en cono Imhoff.
Hierro total	Espectrofotométrico. Ortofenantrolina.

Cumplimiento normativo e indicadores ambientales:

Los valores de las parámetros medidos se evaluaron de acuerdo con la Norma NC 521:2007 “Vertimiento de aguas residuales a la zona costera aguas marítimas –Especificaciones”.⁽⁷⁾ Además se calcularon los indicadores ambientales carga contaminante y huella hídrica gris.

La carga contaminante (CC) es la masa del contaminante que se descarga por unidad de tiempo. Se calcula multiplicando la concentración media por el caudal. El caudal resultante se determinó en el punto de muestreo mediante el aforo volumétrico en un intervalo de 15 min y promediando los valores obtenidos durante la jornada laboral del proceso.

El concepto de Huella Hídrica es una propuesta novedosa e interesante, la cual se sustenta en los principios del Análisis del Ciclo de Vida. La huella hídrica gris es un indicador de contaminación que expresa la cantidad de agua dulce que se necesita para diluir la contaminación hasta los valores aceptados en las normativas ambientales. Se determinó tomando como base la metodología propuesta por Hoekstra *et al.* ⁽⁹⁾, y considerando los límites máximos permisibles promedio normados en la NC 521:2007.⁽⁷⁾

Según Hoekstra y col.:

$$HHG = CC / (C_{max} - C_{amb})$$

donde:

HHG Huella hídrica gris ($m^3/día$),

CC Carga contaminante ($kg/día$),

Cmax Concentración máxima admisible en el cuerpo receptor (kg/m^3), Camb Concentración ambiental (kg/m^3)

Resultados y discusión

Análisis y evaluación de los residuales líquidos:

El manejo que cada entidad realiza con sus efluentes, así como su clasificación se especifican en la tabla 3.

Tabla 3- Manejo de los residuales líquidos efectuado en cada entidad.

Entidad	Tipo de residual líquido	Manejo del residual líquido
Fábrica de alambre y electrodos "Gonzalo Esteban Lugo"	Inorgánico	<ul style="list-style-type: none">- Posee planta tratamiento- Se vierte en un arroyo intermitente, que desemboca en el estero "El Gremio" de la bahía
Fábrica de Cemento "26 de Julio"	Inorgánico	<ul style="list-style-type: none">- No posee planta tratamiento- Se vierte directamente a la bahía
Fábrica de productos lácteos	Orgánico	<ul style="list-style-type: none">- Posee una planta tratamiento que en estos momentos no está funcionando- Se vierte directamente a terreno aledaño
Empresa Pinturas Vitral	Inorgánico	<ul style="list-style-type: none">- Posee una planta de tratamiento que en estos momentos no está funcionando- Se vierte directamente a terreno aledaño
Terminal Marítima de Nuevitas	Inorgánico	<ul style="list-style-type: none">- Posee planta tratamiento- Se vierte por escorrentía a la bahía

Los procesos de galvanización que se realizan en la Fábrica de Alambres y Electrodo utilizan un gran volumen de agua para llevar a cabo las funciones necesarias, por lo que el volumen de agua vertida es una complicación a la hora del tratamiento y vertimiento. Como el proceso de galvanización es ineficiente porque la mayoría de las sustancias presentes en la disolución electrolítica no se adhieren durante la galvanización, el agua residual contiene gran cantidad de contaminantes en concentraciones elevadas, por lo que su tratamiento se torna difícil. El contenido de sustancias presentes en el agua residual puede ser: desde metales pesados,

sustancias ácidas, sólidos tóxicos en suspensión como remanentes de óxidos de la pieza a recubrir, además de otras sustancias tóxicas.⁽¹⁰⁾

Los impactos ambientales negativos de las operaciones de la fábrica de Cemento en cuanto a contaminantes hídricos se encuentran en los derrames del material de alimentación del alto horno y el agua de enfriamiento del proceso. Además del escurrimiento y el líquido lixiviado de las áreas de almacenamiento de los materiales y de eliminación de los desechos.⁽¹¹⁾

Las aguas de enfriamiento del proceso de elaboración de cemento pueden presentar una elevada cantidad de sólidos disueltos. Además de sólidos suspendidos, como carbonato de calcio y sustancias químicas, como nitrato, magnesio, sulfato e incluso metales pesados que deben ser separados para evitar contaminar el lecho de un río o lago.⁽¹²⁾

En la fábrica de productos lácteos el agua residual generada es vertida directamente al medio, debido a una taponamiento existente en el último registro de la tubería que conduce los residuales hasta el sistema de lagunas de oxidación, provocando su desbordamiento hasta un canal en desuso para el riego de las fincas aledañas.

La composición de los efluentes líquidos de este tipo de industria es muy variable, dependiendo del tipo de proceso y de producto fabricado. De igual manera, la cantidad y la composición efectiva de estos residuos dependen principalmente del volumen de leche que se pierda durante el procesamiento y si las sustancias residuales son reutilizadas o eliminadas en las aguas residuales según el proceso:

Limpieza de las cisternas: genera residuos en los que la cantidad de grasa es bastante abundante, ya que el propio transporte de la leche provoca un desnatado parcial de la misma, que después es difícil de reemulsionar. La limpieza de los silos de almacenamiento genera residuos similares.

Estandarización de la leche: en este proceso se suelen producir efluentes con alto contenido en materia grasa.

Tratamientos térmicos: en los mismos se suelen producir depósitos de proteínas que quedan adheridos a las superficies de los intercambiadores de calor y que posteriormente deben ser arrastrados por las limpiezas químicas.

Producción de queso: son los efluentes que más contaminación provocan si no tienen un aprovechamiento posterior, porque contienen gran cantidad de lactosa y proteínas del suero lácteo. Por ello, suele reutilizarse este suero para la alimentación del ganado. El proceso de

salado también provoca la emisión de efluentes líquidos, aunque en este caso con escasa materia orgánica y gran cantidad de sales.

Producción de mantequilla: como en el caso de las queserías, el residuo más contaminante es el suero de mantequerías o mazada, rico en proteínas del suero y lactosa. Su aprovechamiento posterior suele limitarse a la alimentación de ganado.

Limpieza de circuitos y equipos: aportan la mayor parte de las aguas residuales lácteas y provienen de la limpieza de aparatos, máquinas y salas de tratamiento que contienen restos de productos lácteos y productos químicos (ácidos, álcalis, detergentes, desinfectantes, etc.). El uso de ácido y sosa provoca que los vertidos tengan valores de pH muy extremos, que pueden oscilar desde 5 hasta 10,5. En estos residuos también quedan englobados los generados por los locales sociales, baños, lavabos, etc.

Los residuales líquidos que se generan en la fábrica de pinturas debido al proceso productivo, representan el 85 % del agua consumida en la empresa, siendo este desecho de 4,9 m³/d. Dentro de las operaciones que más aportan se encuentran: el lavado de tanques, equipos, e instalaciones. El efluente obtenido del lavado de los tanques y equipos, será una disolución acuosa. La tubería que conduce los residuales desde la fábrica hasta el sistema de tratamiento, aproximadamente de 20 m, no está en buen estado constructivo, por lo que los residuales generados no llegan en su totalidad hasta la laguna de oxidación y por escorrentía van directamente a la bahía.

El almacenamiento de combustible sufre de un problema continuo, la presencia de agua en los tanques. El agua se decanta en el fondo de los mismos, lo que provoca como mínimo una merma en la capacidad de almacenamiento y si no se toman las precauciones, esta agua puede llegar a los motores, provocándoles un daño potencial. La eliminación de este nivel de agua en la Terminal Marítima, con arrastres de aceites, residuos químicos y combustible, es la fuente fundamental de residuales líquidos que generan estas actividades. Estos residuos son productos difícilmente degradables, que en pequeñas proporciones son capaces de contaminar grandes cantidades de agua (un litro de aceite es suficiente para contaminar un millón de litros de agua), provocando la disminución de las proporciones de oxígeno y la vida en los cuerpos de agua.⁽¹³⁾ Esta entidad tiene voluntad política y un buen sistema integrado de gestión, con el cual logra un resultado favorable en la gestión ambiental.

Evaluación del cumplimiento de la NC 27:2012:

Para conocer si los residuales evaluados cumplen las normas de vertimiento se compararon los valores de los parámetros obtenidos con los establecidos en la norma cubana NC 521:2007 ⁽⁷⁾, como se muestra la tabla 4.

Tabla 4- Comparación de los valores de concentración promedio obtenidos para los parámetros físico-químicos con los límites máximos permisibles en la NC 521:2007.

Parámetros indicadores de contaminación	Valores promedio por entidades (X ± S)					Límite Máximo Permissible
	Fábrica de alambre y electrodos	Fábrica de Cemento	Fábrica de productos lácteos	Empresa Pinturas Vitral	Terminal Marítima de Nuevitas	
Sólidos totales (mg/L)	456±198	60± 67	1520±1342	6000 ± 1167	< 25	75
Sólidos sedimentables (mL/L)	0,26±0,1	3,5±0,6	4,4±3,9	80± 7,6	-	10
pH (U)	6,7±0,2	7,2± 0,3	6,6±0,1	7±0,05	8,05±0,08	5,5 – 9,0
DQO (mg/L)	2166±1542	730±152	2700±1965	14000±1000	372±240	190
DBO ₅ (mg/L)	650±354	347± 392	1300±596	1 540± 475	< 30	75
Hierro total (mg/L)	2,4±0,9	-	-	-	-	10
Grasas y aceites (mg/L)	110±88	4,2±0,7	330± 320	-	< 1,4	30

*Se resaltan los valores de los parámetros que sobrepasan el Límite Máximo Permissible

Leyenda: X - valor medio; S – desviación típica.

Se debe señalar que para definir a una entidad como fuente contaminante debe realizarse el cálculo de la carga contaminante diaria que genera para todos los parámetros establecidos en la norma. A los efectos de la norma analizada, se considera como fuente contaminante a toda entidad responsable de la descarga o vertimiento que genere una carga superior (en al menos uno de los parámetros) a lo establecido en la misma.

En este trabajo se define la carga contaminante como DQO para las entidades estudiadas que tiene un valor máximo permisible de 10 200 g/d. Esto se representa en la figura 3 y se comenta para cada entidad en particular.

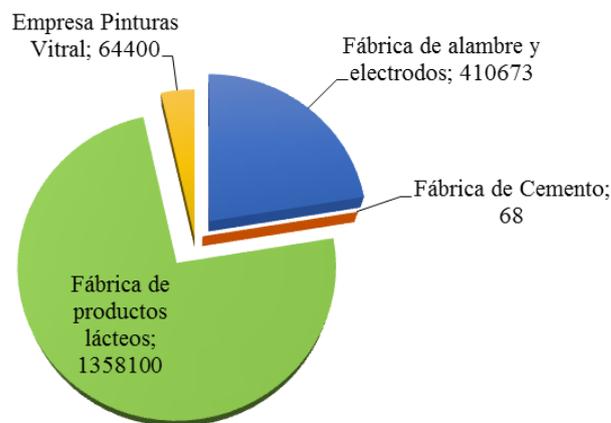


Fig. 3- Representación de la carga contaminante por entidad

Para determinar el índice de biodegradabilidad (IB) se aplicó la relación entre DQO y DBO. Los resultados son comparados con la escala siguiente: $DQO/DBO_5=1,00-2,50$ biodegradable, de $2,50-5,00$ medianamente biodegradable y mayor a $5,00$ poco biodegradable (ver figura 2).

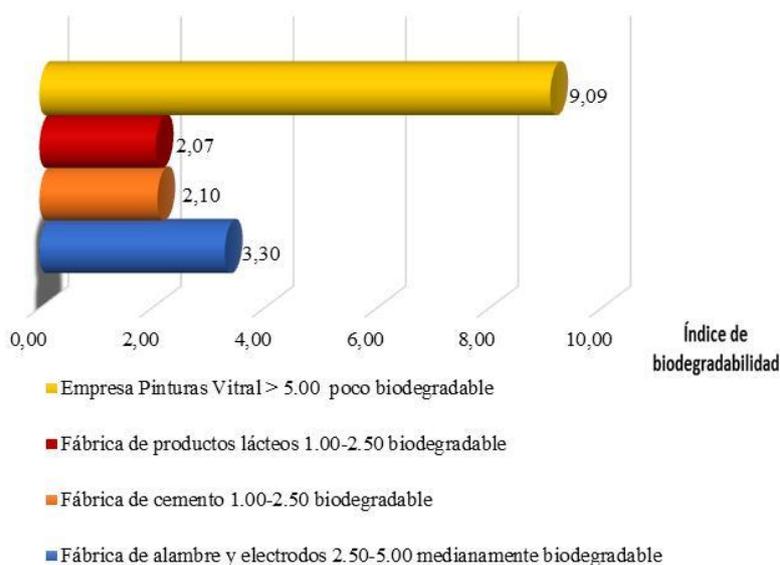


Fig. 2- Representación del índice de biodegradabilidad por entidad

En la Fábrica de Alambres y Electrodoes en el momento del muestreo se encontraron valores muy elevados de sólidos totales (DQO y DBO_5), debido a un derrame puntual de combustible que ocasionó una acumulación en las orillas del curso de las aguas residuales, por lo que hubo un aumento en 3,6 veces el valor normado para las grasas y aceites. El coeficiente de

degradación biológica es de 0,3 indicando que el residual es biodegradable. Como la carga contaminante calculada para la DQO sobrepasa lo establecido en los límites permisibles la entidad se clasifica como fuente contaminante.

La fábrica de cemento muestra un valor de DQO 730 mg/L, que se encuentra en el rango entre 50 y 2000 mg/L que se establece para los residuales industriales. Para la DBO₅ se tiene un valor de 347 mg/L que sobrepasa el límite permisible y también se encuentran por encima de otras referencias, como lo que plantea Calderón y col. ⁽¹¹⁾, sobre los datos promedio de parámetros de aguas residuales de fábricas de cemento en Ecuador, donde estos indicadores no superan el LMP normado (200 mg DQO/L y 100 mg DBO₅/L). Según lo establecido en la norma evaluada no clasifica como entidad contaminante, pues no sobrepasa el límite permisible para la carga contaminante. El IB calculado para el residual evaluado es de 2,1, lo cual refleja que el vertido es biodegradable.

Las aguas residuales de la fábrica de productos lácteos presentan marcado carácter orgánico (elevada DBO₅ y DQO), lo que confirma el IB de 2,07 que refleja un vertido biodegradable. Esto está en correspondencia con lo descrito en la literatura ⁽¹⁴⁾, para las industrias de tratamiento de leche, en las que debido a la presencia de componentes de la leche, se tiene una DBO₅ de 110.000 mg/l y una DQO de 210.000 mg/l. Los valores de estos parámetros en el residual resultante son elevados y de carácter orgánico.

Los valores de grasas y aceites también sobrepasan en 11 veces el límite permisible de la norma cubana evaluada. Lo mismo ocurre para los valores obtenidos de sólidos totales que sobrepasan la norma en 20 veces, siendo un resultado esperado según el tipo de residual analizado. Esto concuerda con lo referenciado por Andrades, que analiza las características de los vertidos del sector lácteo, resumiendo que tienen una alta biodegradabilidad, presencia de aceites y grasas, altas concentraciones de fósforo y nitratos, principalmente debidos a los productos de limpieza y desinfección, valores puntuales de pH extremos, debidos al uso de ácidos y bases en las operaciones de limpieza.⁽¹⁴⁾

Por otra parte, de las entidades analizadas, la Fábrica de productos lácteos es la que vierte mayor cantidad de carga contaminante diaria al medio (1 358 100 g/d). Esto pudiera estar influenciado por el alto caudal de residual generado (503 m³/d). Además, como la carga contaminante calculada para la DQO sobrepasa lo establecido en los límites permisibles, la entidad se clasifica como fuente contaminante.

Los resultados obtenidos para los parámetros analizados en la Empresa de **Pinturas Vitral** presentan altos contenidos de sólidos, tanto totales, como sedimentables. Las altas concentraciones de la DBO₅ (1 540 mg/L) y la DQO (14 000 mg/L) están en correspondencia con lo descrito por la Industria Elaboradora de Pinturas.⁽¹⁵⁾ El agua residual contiene concentraciones considerables de la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y compuestos tóxicos.⁽¹⁶⁾ Akyol⁽¹⁷⁾ reportó un agua residual de fabricación de pinturas con concentraciones de DBO₅ y DQO de 2 800 mg/l y 19 700 mg/L respectivamente, mientras que Aboulhassan *et al.* /13/ reportaron concentraciones de 1 465,20 mg/L y 16 342,32 mg/L respectivamente.

La relación DBO₅/DQO constituye una buena medida de la biodegradabilidad de un agua residual. Una relación DBO₅/DQO > 0,4 se puede considerar completamente biodegradable.⁽¹⁸⁾ Sin embargo, las relaciones DBO₅/DQO para las aguas reportadas por Akyol y Aboulhassan *et al.* son respectivamente 0,14 y 0,09, lo cual indica que un tratamiento biológico parece ser difícil y entonces se requiere un proceso fisicoquímico.^(13, 17) Esta relación para el caso evaluado por nosotros es de 0,11; corroborándose lo descrito en la literatura. Además se puede afirmar que el tratamiento previsto para estos residuales no es el adecuado a sus características, ya que la laguna de oxidación es un tratamiento para residuales biodegradables. Por otra parte, la carga contaminante calculada para la DQO sobrepasa lo establecido en los límites permisibles, por lo que la entidad se clasifica como fuente contaminante.

En la **Terminal Marítima** Pastelillo, todos los valores excepto el de la DQO (2 veces lo normado) se encuentran dentro de lo establecido en la NC.⁽⁷⁾ Esto está en consonancia con lo planteado por Sibello y col., sobre los valores de DQO que se obtuvieron en un estudio a la Refinería Camilo Cienfuegos, donde prácticamente este indicador duplica el LMP normado (75 mg/L), lo cual es indicativo de una masa orgánica contaminante significativa.⁽¹⁹⁾ No se pudo obtener el IB, pues el valor de la DBO₅ está por debajo del límite de cuantificación.

Las escasas aplicaciones prácticas de la huella hídrica existentes en cuencas hidrográficas no suelen evaluar la componente gris. Esta limitación en el cálculo se debe esencialmente a que no existe una metodología de aceptación general a la hora de evaluar la huella hídrica para una cuenca hidrográfica. No obstante, en el grupo de calidad ambiental del CIAC se utiliza la metodología propuesta por Hoekstra⁽⁹⁾ por la importancia de no despreciar esta componente

en el valor final de la huella hídrica. Los valores calculados para cada empresa se muestran en la figura 4.

De las industrias evaluadas, la que mayor huella hídrica gris tiene según la actividad que realiza, es la **Fábrica de productos lácteos**, lo que nos indica que esta empresa necesita una mayor cantidad de agua dulce para diluir la contaminación que genera hasta los valores aceptados en las normativas ambientales. Estos valores se toman de referencia para evaluar en trabajos posteriores la efectividad de las medidas ambientales aplicadas por las entidades según corresponda.

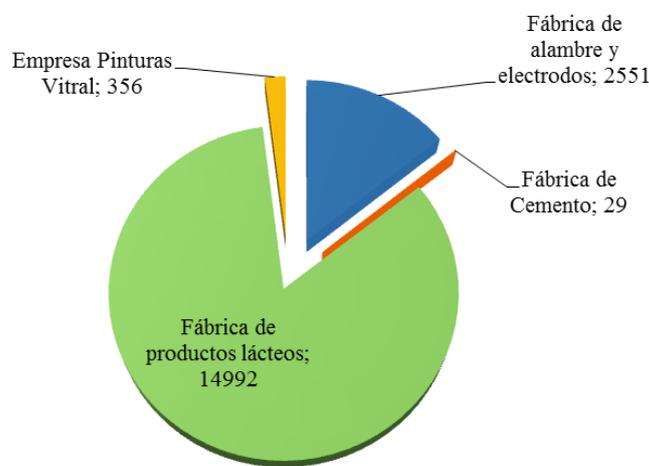


Fig. 4- Representación de la huella hídrica por entidad.

Sugerencias a la dirección de las entidades estudiadas:

Tomar acciones oportunas en beneficio del medio ambiente, entre las que se pueden recomendar:

- ✓ La Fábrica de Alambres y Electrodo: eliminar el vertimiento puntual de las grasas y aceites y limpiar la zona afectada.
- ✓ La Fábrica de Cemento: realizar acciones encaminadas al diseño y construcción de un sistema de tratamiento de residuales.
- ✓ La Fábrica de Productos Lácteos de Nuevitas: reparar la conductora de los residuales hasta el sistema de lagunas de oxidación.
- ✓ La Empresa Pinturas Vitral: rediseñar el sistema de tratamiento de residuales líquidos de acuerdo a las características del mismo.

- ✓ La Terminal Marítima de Nuevitas: realizar los mantenimientos necesarios a la planta de tratamiento de residuales líquidos de la instalación.

Todas las entidades deben repetir el monitoreo una vez que se encuentre en funcionamiento el sistema de tratamiento y recalcular los indicadores de contaminación y evaluar su evolución.

Conclusiones

Las entidades evaluadas en este estudio mantienen altos niveles de contaminantes en sus emisiones líquidas al medio, lo cual incrementa la contaminación en la Bahía de Nuevitas. Todas se mantienen clasificadas como fuentes contaminantes según los criterios de la Norma NC 521:2007. Las sugerencias realizadas a la dirección de las entidades deben contribuir a la mejora progresiva de la calidad del agua en la Bahía de Nuevitas, con efectos positivos sobre el medio ambiente y la salud de personas y animales. Por consiguiente, la gestión de los residuos líquidos a nivel empresarial debe formar parte de las líneas de trabajo ambiental, con el fin de lograr una armonía entre el medio y el desarrollo industrial, que garantice la sostenibilidad económica y medio ambiental.

Referencias bibliográficas

1. BERRO, C. T. “Gestión de residuales líquidos desde la perspectiva del consumo sustentable”. *Cub@: Medio ambiente y Desarrollo*. 2007. 12, ISSN: 1683-8904.
2. “Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre la valorización de los Recursos Hídricos 2017: Aguas residuales: El recurso desaprovechado.” WWAP (Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos)/ONU-Agua. París, UNESCO. 2017. [En línea]. Disponible: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>. Accedido el 15/05/2019.
3. CITMA. Estrategia Ambiental Nacional 2016/2020, (2016) [en línea]. La Habana, Cuba. [Disponible en: <http://repositorio.geotech.cu/jspui/bitstream/1234/2727/1/Estrategia%20Ambiental%20Nacional%202016-2020.pdf>. Accedido el 26 de marzo de 2020.

4. Asamblea Nacional del Poder Popular. ANPP. Ley No. 81. Del Medio Ambiente. (1981). Gaceta Oficial de la República de Cuba [en línea]. La Habana. Cuba. Disponible en: http://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/cuba/cuba_81-97.pdf . Accedido el 26 de marzo de 2020.
5. PERIGÓ, E., MONTALVO, J. F., CANO, M., MARTÍNEZ, C., NIÉVARES, A., PÉREZ, D. M. Principales fuentes contaminantes en la ecorregión norcentral de Cuba (Archipiélago Sabana-Camagüey). *Impactos y respuestas*. 2004, Vol. 5, p. 14-26. ISBN 959-7136-24-4.
6. CENTRO DE INGENIERÍA AMBIENTAL DE CAMAGUEY. Procedimiento L-PA-012 para la organización de la actividad del muestreo. Laboratorio de Ensayos del Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey (CIAC). Documento de trabajo interno no publicado.
7. OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN. NC/CTN 3 DE GESTIÓN AMBIENTAL. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera aguas marítimas- Especificaciones, NC 521: 2007, La Habana, Cuba, 2007.
8. RICE, E., BAIRD, R., EATON, A. (Eds.) Standard methods for examination of water and wastewater. 23a ed. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, Washington DC, 2017. ISBN: 9780875532875.
9. HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. London: Water Footprint Network, Earthscan, 2011. ISBN: 978-1-84971-279-8
10. CHÁVEZ-PORRAS, A.; CRISTANCHO-MONTENEGRO, D. L.; OSPINA-GRANADOS, É. A. “Una alternativa limpia para el tratamiento de las aguas residuales galvánicas: revisión bibliográfica”. *Revista Ingenierías*. 2009, volumen 8, No. 14, pp. 39-50. ISSN: 16923324.
11. CALDERÓN, H. MÁRQUEZ, R, RENNOLA, L. “Estudio de las tecnologías para el tratamiento de los efluentes acuosos generados por una planta de producción de cemento”. *AXIOMA*. 2017, **17**, 54-68. ISSN: 1390-6267
12. JÁUREGI-NONGRADOS, N. “Tratamiento de aguas residuales de la industria UNICON”. [en línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/332280156/Tratamiento-de-Aguas-Residuales-de-La-Industria-Cementera-Unicon#>. Accedido el 26 de marzo de 2020
13. ABOULHASSAN, M.A.; SOUABI, S.; YAACOUBI, A.; BAUDU, M. “Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids”. *Journal of Hazardous Materials*. 2006, B138, pp. 40–45. ISSN: 03043894.

14. ANDRADES-BALAO, J. A. “Los vertidos del sector lácteo”. Escuela Organización Industrial, Sevilla, abril 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19964/los-vertidos-del-sector-lácteo>. Accedido el 6 de mayo de 2020.
15. “GUIA PARA EL CONTROL Y PREVENCION DE LA CONTAMINACION INDUSTRIAL. INDUSTRIA ELABORADORA DE PINTURAS”. COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE - REGION METROPOLITANA. Santiago, Chile. 1998. [En línea]. Disponible: <https://es.scribd.com/document/209534206/Guia-Para-El-Control-y-Prevencion-de-La-Contaminacion-Industrial-Industria-Elaboradora-de-Pinturas>. Accedido el 15/05/2019.
16. DEY, B.K., HASHIM, M.A, HASAN, S., SEN GUPTA, B. “Microfiltration of water-based paint effluents”. *Advances in Environmental Research*. 2004, **8**, (3-4), pp. 455-466. ISSN: 1093-0191. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00122-3](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00122-3) <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1093019102001223>).
17. AKYOL, A. “Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation”. *Desalination*. 2012, **285**, pp. 91-99. ISSN: 0011-9164.
18. CHAMARRO, E.; ESPLUGAS, S.; MARCO, A. “Use of Fenton Reagent to Improve Organic. Chemical Biodegradability”. *Water Research*. 2001, (35), pp. 1047-1051. ISSN: 0043-1354.
19. SIBELLO-HERNÁNDEZ, R.; SOSA-RODRÍGUEZ, D.; COMAS-GONZÁLEZ, A.; RODRÍGUEZ-ALAYÓN, M.; RODRÍGUEZ-QUESADA, Á.; RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ, J. R. “Caracterización y evaluación de los residuales líquidos de la Refinería “Camilo Cienfuegos”, Cuba. *Revista Cubana de Química*. 2016, **28** (2), 561-571. ISSN: 2224-5421.

Conflicto de interés

Los autores expresan que no hay conflictos de intereses en el manuscrito presentado.

Contribución de los autores

Yanitse Caparrós Cubeña: concepción y diseño metodológico de la investigación, participación activa en la discusión de los resultados y redacción del manuscrito. Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

Belkis González Barrios: experimentación y participación activa en la discusión de los resultados. Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.

Daimy Godínez Caraballo: elaboración de mapas, búsqueda de información y participación en la discusión de los resultados. Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.